

ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN USUARIOS RESIDENCIALES

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN USUARIOS
RESIDENCIALES**

**AUTOR:
ESTEBAN RICARDO ARCOS LÓPEZ**

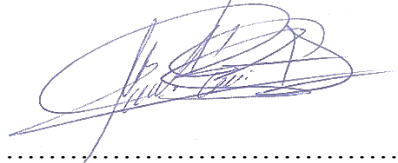
**TUTOR:
EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES**

Quito, Julio 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Ing. Edwin Marcelo García Torres declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Estrategias de eficiencia energética en usuarios residenciales* realizado por Esteban Ricardo Arcos López, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Julio 2016



.....
Ing. Edwin Marcelo García Torres

Cédula de identidad: 1803087400

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Esteban Ricardo Arcos López con documento de identificación N°171435183-8, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “Estrategias de eficiencia energética en usuarios residenciales”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....

Nombre: Esteban Ricardo Arcos López

Cédula: 171435183-8

Fecha: Julio 14 del 2016

ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción	7
2.	Demanda Eléctrica.	7
2.1	Plan de Gestión de la Demanda	8
3.	Control de la Demanda de Energía	8
3.1	Incentivos Arancelarios	9
3.2	Equipos Smart Metering	9
3.3	Programas de eficiencia energética	9
3.4	Control directo de cargas	9
3.5	Clasificación de clientes residenciales por estratos de consumo según la Empresa Eléctrica Quito.....	9
3.6	Curva de demanda en el sector residencial de la ciudad de Quito	9
4.	Determinación de la demanda.....	10
4.1	Modelamiento de la demanda.....	11
4.2	Redes Neuronales Artificiales	11
4.3	Elementos de una red neuronal:.....	11
4.4	Recolección de Datos	14
4.5.	Ahorro de energía.	16
4.5.1.	Utilizar bombillas de bajo consumo.....	16
4.5.2.	Optimizar energía en aires y aparatos de calefacción	16
4.5.3.	Apaga los artefactos eléctricos que no uses	17
4.5.4.	Electrodomésticos de bajo consumo	17
	Conclusiones	18
	REFERENCIAS	18-19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de carga en el sector residencial de la ciudad de Quito	9
Figura 2. Usos finales de la energía eléctrica en el sector residencial de la región Sierra.....	10
Figura 3. Relación entre neurona biológica y una artificial	11
Figura 4. Curva de demanda pronosticada sin aplicar ningun método de ahorro	13
Figura 5. Curva de demanda pronosticada aplicando ahorro en horas pico	13
Figura 6. Porcentaje de equipos de consumo 0-130 kWh	14
Figura 7. Porcentaje de equipos de consumo 131-500 kWh.....	14
Figura 8. Porcentaje de equipos de consumo mayores a 500 kWh.....	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estratos de consumo según la E.E.Q.....	9
Tabla 2. Porcentaje de equipos de consumo 0-130kWh.....	14
Tabla 3. Porcentaje de equipos de consumo 131-500kWh	14
Tabla 4. Porcentaje de equipos de consumo mayor a 500kWh	14

ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN USUARIOS RESIDENCIALES

Resumen

El continuo aumento de la demanda de electricidad y la integración de fuentes de energía renovables requieren estrategias de control avanzado para garantizar un suministro ininterrumpido y de alta eficiencia energética. Las compañías eléctricas y operadores de redes de transporte controlan la generación y redes para compensar cualquier diferencia entre la producción y la demanda.

El sector residencial, esencialmente constituido por viviendas y edificios, posee gran potencial para influir en la reducción del costo ecológico en la producción de energía eléctrica mediante un proceso que involucra la optimización de las instalaciones y cambios en los hábitos de consumo. La presente investigación se enfoca en este sector para proponer métodos que permitan aumentar la eficiencia energética.

El objetivo de esta investigación es obtener una estrategia de eficiencia energética en usuarios residenciales en la Ciudad de Quito, a través de la implantación de técnicas de inteligencia artificial como lo es el modelo de Redes Neuronales Artificiales RNA.

Estas técnicas de matemáticas modernas como las RNA son bien oportunas en el contexto tecnológico actual y ofrecen grandes potencialidades y precisión.

La metodología se basa en encuestas establecidas para determinar el comportamiento de consumo del sector residencial en dicha ciudad. Se establece un modelo curvas diarias típicas para indicar los aparatos más utilizados en determinados momentos y proponer una estrategia eficiente económicos y ambientalmente sustentable.

Abstract

The continuing increase in demand for electricity and the integration of renewable energy sources require advanced control strategies to ensure an uninterrupted supply and high energy efficiency. Utilities and network operators control the generation and transport networks to compensate for any difference between production and demand.

The residential sector, essentially consisting of houses and buildings, has great potential to influence the ecological cost reduction in the production of electricity through a process that involves the optimization of facilities and changes in consumer habits. This research focuses on this sector to propose methods to increase energy efficiency.

The objective of this research is to obtain a strategy of energy efficiency in residential users in the city of Quito, through the introduction of artificial intelligence techniques such as the Artificial Neural Networks model RNA.

These techniques of modern mathematics as well RNA are appropriate in the current technological context and offer great potential and accuracy.

The methodology is based on established surveys to determine the behavior of consumption in the residential sector in the city. One typical to indicate the most used at certain times and propose an efficient and environmentally sustainable economic strategy appliances daily curves model is established.

Palabras Clave: eficiencia energética, respuesta de la demanda energética, optimización de recursos

Keywords: energy efficiency, energy demand response, resource optimization

1. Introducción

En este siglo la energía eléctrica ha sido uno de los temas más importantes. El aumento en el consumo eléctrico a nivel mundial conlleva al deterioro en la ecología del planeta. El uso responsable, así como la optimización técnica y económica, permitirían un ahorro considerable de potencia y energía demandada a la red, lo que representa parte importante de la solución para resolver el problema energético en la actualidad. En estos días la energía eléctrica es el recurso más importante para la vida de la gente. [17].

La energía eléctrica es imprescindible para el desarrollo de nuestras sociedades. Tanto es su importancia que el nivel de desarrollo puede medirse por el nivel del consumo de dicha energía. Sin embargo, los científicos predicen que al ritmo actual, se duplicará el nivel de consumo en los próximos 35 años, lo cual acarrea serios riesgos para el equilibrio ecológico [9].

En el Ecuador y el resto del mundo gracias a la energía eléctrica es posible usar aparatos eléctricos que ayudan a tener un estilo de vida más cómodo que sería imposible disfrutar si no se dispusiera de ella, y como es tan importante, también lo es hacer un uso racional de ella, por lo que se hace necesario, aprender a ahorrarla para de esta forma aumentar su eficiencia. [13].

Cerca del 80% de la energía eléctrica es generada a partir de combustibles fósiles, lo que representa un alto porcentaje de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Es decir, el nivel de la demanda de energía tanto en el sector residencial como industrial, incide directamente en los niveles de emisión de este gas de efecto invernadero [9].

En el Ecuador, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable tiene la misión de elaborar y ejecutar un plan de eficiencia energética, ayudando de esta manera a la economía del consumidor y a la disminución del consumo en horas pico.

Para la elaboración de este plan se requiere la implementación de estrategias por parte del estado y empresas distribuidoras, siguiendo los lineamientos del Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, para ser aplicadas por los usuarios finales, tales como la inversión en equipos que mejoren la eficiencia energética, medida que fomenta la cultura del ahorro energético [18].

El propósito de la presente investigación es obtener una estrategia de eficiencia energética en usuarios residenciales en la Ciudad de Quito, a través de la implantación de técnicas de inteligencia artificial como lo es el modelo de Redes Neuronales Artificiales RNA.

Estas técnicas de matemáticas modernas como las RNA son bien oportunas en el contexto tecnológico actual y ofrecen grandes potencialidades y precisión.

2. Demanda Eléctrica.

La demanda eléctrica se define por lo general como el consumo en kilovatios por hora (kWh) de una carga o conjunto de cargas conectadas a la red de distribución [9].

La demanda de energía eléctrica está sujeta a cambios debido a varios factores. En una comunidad de propietarios dicha demanda depende fundamentalmente de las instalaciones compartidas. Sin embargo, existe la tendencia general de que sean los servicios de

iluminación, ascensores y calefacción, las partidas de mayor consumo [3].

Otros factores de importancia que inciden en la demanda residencial de energía eléctrica son el número de consumidores, el precio de los electrodomésticos, el número de personas por vivienda, así como la hora del día, porque por lo general se consume más en las primeras horas antes de asistir a la jornada laboral diaria y en las horas de la tarde cuando se regresa al hogar [14].

Otro factor que interviene en la demanda de energía es la diferencia de temperatura generada por la variedad de zonas geográficas, lo que incide en el nivel de uso de aires acondicionados o calefactores. [8] La demanda de energía también varía según los días de la semana, ya que esta suele ser mayor en los días laborables que en días festivos o fines de semana.

A todo esto se suma el uso de equipos de baja eficiencia energética, factor que merece un estudio detallado para procurar su solución mediante la adopción de nuevas tecnologías. [16]

El consumo eléctrico dentro del usuario residencial se distribuye entre la iluminación, los equipos vitales en un hogar como refrigeradoras, y televisores y otros de menor importancia como secadores de pelo, y pequeños aparatos de cocina, como licuadoras y extractores de jugos. [3]

2.1 Plan de Gestión de la Demanda

La gestión de la demanda se presenta en el contexto del ahorro energético, una necesidad imperante a nivel mundial y a escala regional [23]. La gestión de la demanda es el proceso por el cual se planifica el cambio en los patrones de consumo. Su misión es lograr un comportamiento más

responsable en el uso de la energía eléctrica por parte del cliente, lo que incidiría directamente sobre la magnitud de la curva de carga a la cual se encuentra sometida la red de distribución.

Desde el punto de vista de la generación y distribución, las razones más importantes para la gestión de la demanda son:

- Preocupación en el impacto ambiental
- Impactos en los costos de producción de la energía eléctrica.

Los programas de gestión de la demanda tienen como función:

- Alterar la curva de carga.
- Eficiencia energética
- Reducir las pérdidas en líneas, transformadores y su costo asociado.
- Optimizar la utilización del sistema eléctrico
- Disminución del impacto ambiental.
- Aumento de la flexibilidad y mejora de la fiabilidad del sistema con las instalaciones existentes. [4]

3. Control de la Demanda de Energía

El Ecuador implementa actualmente diferentes proyectos para aumentar la eficiencia energética a través del control de la demanda, enfocándose en el uso óptimo de la energía.

Para poder lograr este control se promueve la sustitución tecnológica, la gestión y transformación de hábitos de consumo en el sector residencial. Además, a través del Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, se implementan las estrategias

siguientes [4]:

3.1 Incentivos Arancelarios

Los incentivos arancelarios promueven en el consumidor el uso del suministro eléctrico en horas ubicadas fuera del horario de alta demanda. Este incentivo está basado en el establecimiento de precios o tarifas por consumo de energía, que comparativamente, invitan al cliente a utilizar la energía en horarios de baja demanda [4].

3.2 Equipos de Medición Inteligente

Estos equipos inteligentes permiten registrar información relativa a los hábitos de uso de la energía eléctrica por parte del usuario residencial. Este monitoreo es de gran utilidad para aportar retroalimentación al sistema de control de la demanda, identificando el horario de mayor uso en el cual se generan los picos más altos [3].

3.3 Programas de eficiencia energética

Varios países están implementando programas de eficiencia energética con el fin de aprovechar de la manera más óptima posible las fuentes de energías. En el caso del Ecuador, la intención es reemplazar las fuentes no renovables por aquellas renovables, con el fin de disminuir la dependencia de fuentes externas, promoviendo así un mayor cuidado y protección del medio ambiente [4].

3.4 Control directo de cargas

Este sistema es el más utilizado, ya que se pueden encender o apagar las cargas de manera remota. El encendido o apagado de cargas puede hacer parcialmente o por un corto periodo de tiempo, según los requerimientos del usuario, tomando en cuenta las horas pico de demanda. [4]

3.5 Clasificación de clientes

residenciales por estratos de consumo según la Empresa Eléctrica Quito

Los usuarios del sector residencial dentro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito están divididos por estratos de consumo como se muestra en la tabla 1, con el objetivo de conocer las demandas que coinciden según el diseño establecido. La Dirección de Distribución de la Empresa Eléctrica Quito será responsable de asignar las categorías de estratos de consumo para un proyecto en particular.

Tabla 1: Estratos de consumo según la E.E.Q[3]

CATEGORÍA DE ESTRATO DE CONSUMO	ESCALAS DE CONSUMO (kWh/mes/cliente)
E	0-100
D	101-150
C	151-250
B	251-350
A	351-500
A1	501-900

3.6 Curva de demanda en el sector residencial de la ciudad de Quito



Figura 1: Curva de Carga en el sector residencial de la Ciudad de Quito [4]

Lo más resaltante de la Curva de Demanda presentada en la Figura 1 es el horario de mayor demanda, el cual se presenta entre las 20:00 y las 22:00 horas aproximadamente. Esto se corresponde con el hecho de que en este horario los habitantes de las residencias regresan de sus puestos de

trabajo al hogar y encienden la mayoría de los equipos que aseguran su comodidad. Mientras, el horario de menor demanda se encuentra entre las 0:00 y las 06:00 horas, período regular de descanso. Entre las 06:00 y las 18:00 horas la gráfica muestra un consumo constante. Es prudente destacar que esta curva de carga en el sector residencial de la Ciudad de Quito, no refleja el consumo de las muy recientes cocinas de inducción en este panorama energético.

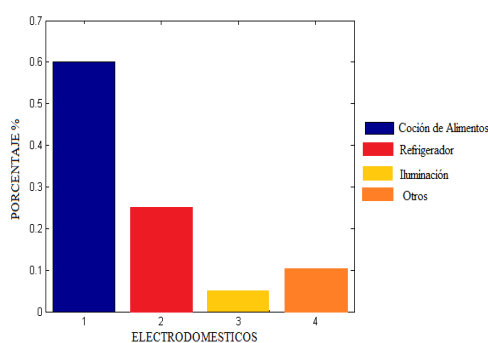


Figura 2: Usos finales de la Energía Eléctrica en el Sector Residencial de la Región Sierra [4]

En la Figura 2 se ilustra el uso final de la energía eléctrica por parte del sector residencial, correspondiente a la Región Sierra. El gráfico debería incluir otros equipos de alto consumo, como es el caso de las duchas eléctricas.

4. Determinación de la demanda

Para determinar la demanda de energía en una residencia, se considera la aplicación del método propuesto por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), el cual considera que a partir de cada uno de los puntos de los circuitos de alimentación, incide un número variable de consumidores, el cual depende a su vez de la ubicación del punto considerado en relación a la fuente y a las cargas distribuidas[5]. El método implica el establecimiento del tipo de usuario, la determinación de la

demanda máxima unitaria y el cálculo del factor de potencia.

Se debe considerar que los valores obtenidos son solo estimaciones, por lo que se los debe tomar como una referencia.

La EEQ es consciente de que cada caso de determinación de la demanda es particular, es decir, se deben conocer, además de la carga instalada. Se deben considerar otros parámetros como la localización de la vivienda, división y uso del suelo, área y características de la residencia, para disponer de un criterio fundamentado.

El método planteado por la EEQ tiene como finalidad la determinación de la demanda máxima unitaria correspondiente al usuario representativo de un grupo de usuarios básicamente homogéneo.

A continuación se describirán los pasos a seguir para determinar la demanda de energía en una residencia:

Paso 1: Determinación de la Carga Instalada del usuario o consumidor

Se debe realizar un cuadro detallando los artefactos eléctricos y de iluminación. El cuadro debe tener la siguiente composición, según el Apéndice A-11-D de las normas para sistemas de distribución parte a de la EEQ: número de referencia en la columna 1, descripción en la columna 2, cantidades en la columna 3, potencia nominal en la columna 4.

Paso2: Carga instalada del consumidor representativo. Para cada una de las cargas individuales anotadas en la columna 4, se debe establecer un factor de frecuencia de uso (FFUn), el cual es el responsable del porcentaje de incidencia de la carga del consumidor representativo, o sea, que los equipos de los cuales se dispone durante un espacio de tiempo mayor por parte de los usuarios, tendrán un rango superior

de consumo, en contraposición a los que tienen una utilización limitada o de magnitud media o baja [5].

Para determinar la carga instalada se utiliza la siguiente ecuación:

$$CIR = P_n \times FFU_n \times 0.01 \quad (1)$$

Dónde:

CIR: Carga Instalada por Consumidor Representativo

P_n: Potencia o Carga Nominal de los artefactos individuales

FFU_n: Factor de Frecuencia de Uso de la carga individual

Paso 3: Determinación de la demanda máxima unitaria (DMU)

Definida como el valor máximo de la potencia requerida a la red por el consumidor en un intervalo de tiempo de 15 minutos, la DMU se determina a partir de la Carga Instalada por Consumidor Representativo (CIR) y del Factor de Simultaneidad (FSn) para cada una de las cargas instaladas. El FSn es expresado en porcentajes y establecido por el Proyectista para cada una de las cargas instaladas en función de los patrones de uso de cada equipo o artefacto eléctrico.

El FSn determina la incidencia de la carga considerada en la demanda coincidente durante el período de máxima exigencia. Estudios demuestran que la calefacción, la iluminación y el entretenimiento, son los servicios de mayor consumo de energía en el sector residencial, por lo que los equipos utilizados para este fin tendrán máximos valores de simultaneidad. En contraposición, aquellos equipos de uso esporádico como: lavadoras y secadoras, tendrán en consecuencia valores mínimos de

simultaneidad[6].

$$DMU = CIR \times FSn \times 0.01 \quad (2)$$

Dónde:

DMU: Demanda Máxima Unitaria
CIR: Carga Instalada por consumidor representativo

FSn: Factor de Simultaneidad por carga individual.

4.1 Modelamiento de la demanda

En esta investigación se empleará el método de la Redes Neuronales Artificiales (RNAs) para diseñar la demanda de energía eléctrica de una casa de familia. Se utiliza dicho método por la similitud que poseen las redes de distribución de energía eléctrica con las redes neuronales del cerebro. Además, al igual que lo hacen las RNAs, de las redes eléctricas se puede aprender a partir de la experiencia [9].

4.2 Redes Neuronales Artificiales

Las RNAs son modelos computacionales que buscan representar matemáticamente la dinámica del cerebro, por lo que imitan la estructura física del sistema nervioso, procurando ejecutar de las funciones del cerebro humano. Una RNA puede concebirse como una cadena de procesadores artificiales (neuronas artificiales) que permiten, al igual que lo hace el sistema nervioso humano, transmitir o transportar señales que provienen de múltiples entradas (sensores) hacia los centros de control, y luego dirigir la señal de respuesta hacia los órganos actuadores [16]

4.3 Elementos de una red neuronal:

La Neurona artificial es un elemento simple de cálculo a partir del cual un vector de entrada procedente del exterior, y/o a partir del estímulo recibido de otras neuronas

proporcionan una respuesta única (salida). Cada Neurona Artificial posee los siguientes elementos básicos[6]:

- I. Una condición inicial o valor de activación (a_{t-1}),
- II. Estímulos de entrada (x_i) con pesos asociados (w_{ij}),
- III. Una función de propagación que determina la entrada total a la neurona (Net_j),
- IV. Una función de transferencia (f),
- V. Una función de salida (F) que transforma el estado final en la señal de salida,
- VI. Un señal de salida (y_j) que se transmite a otras neuronas,
- VII. Una regla de aprendizaje que determina la actualización de los pesos de la red.

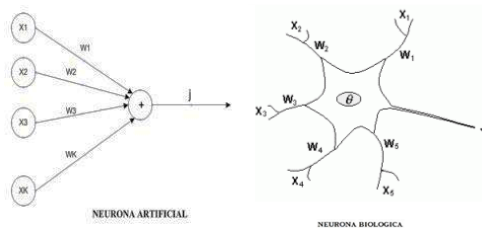


Figura 3: Relación entre una neurona biológica y una artificial [7].

Las RNAs están caracterizadas por 4 aspectos principales[15]:

- a) La topología; organización o disposición de las neuronas en la red, formando agrupaciones llamadas capas,
- b) El mecanismo de aprendizaje: proceso por el cual una red modifica sus pesos como respuesta a una información de entrada,
- c) Tipo de asociación realizada: se refiere a la asociación entre la información de entrada y de salida,
- d) Forma de presentación de la información: la forma que asume la señal de entrada y de salida (discreta,

continua, sinusoidal, etc.)

A partir de la ubicación, se pueden distinguir tres tipos de capas:

- a) Capa de entrada: Es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la red.
- b) Capa Ocultas: Son internas a la red y no tienen contacto directo con el entorno exterior. Capa de entrada: Es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la red.
- c) Capa Ocultas: Capa de salida: En esta capa se transfiere la información de la red hacia el exterior.

Estado de activación. En un momento determinado, cada neurona de la red presenta un estado de reposo o de excitación, según su valor actual de activación. Dicho valor puede ser discreto o continuo. En el caso del valor discreto, se utiliza el código binario, es decir, puede asumir el valor 1 para el estado activo y cero para el estado pasivo[7].

Conexiones y pesos sinápticos. Las conexiones que unen a las neuronas que forman una RNA tiene asociado un peso, que posibilita que la red adquiera conocimiento. Los pesos w_{ij} se suelen agrupar en una matriz W , indicando la influencia que tiene la neurona i sobre la neurona j . Esta interacción puede ser positiva si es excitadora, negativa si es inhibidora, y de valor cero si no existe conexión entre ambas neuronas. Esta regla es denominada función de propagación[1].

Modelo de red neuronal

El modelo de red neuronal empleado es perceptrón simple, fue concebido a finales de la década de los 60, inspirado en las primeras etapas de procesamiento de los sistemas sensoriales de los animales. Esta red de

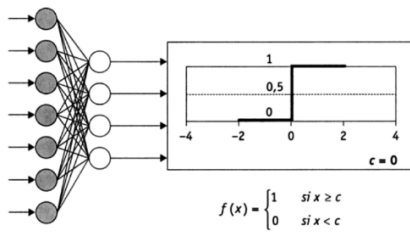
naturaleza unidireccional, se organiza en dos capas de neuronas (N celda de entrada y M número de salidas) calculados cada salida de la red como sigue (considerando la presencia de umbrales):

$$Y_j = f \left(\sum_{i=0}^N W_{ij} * X_j \right), \forall j, 1 \leq j \leq M$$

La función de activación de las neuronas de salida es de tipo escalón, como se muestra en la figura.

$$Y_j = H \left(\sum_{i=0}^N W_{ij} * X_j \right), \forall j, 1 \leq j \leq M$$

$$Y_j = H \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{si} \left(\sum_{i=0}^N W_{ij} * x_j \right) \geq 0 \\ 0, \text{si} \left(\sum_{i=0}^N W_{ij} * x_j \right) < 0 \end{array} \right\}, \forall j, 1 \leq j \leq M$$



De esta forma la regla de aprendizaje responde a la siguiente expresión:

$$W_{ij} (t + 1) = W_{ij}(t) + \Delta W_{ij}(t)$$

De esta forma, la regla de aprendizaje del perceptrón simple responde a la siguiente expresión:

$$W_{ij} (t + 1) = W_{ij}(t) + \Delta W_{ij}(t),$$

$$\Delta W_{ij}(t) = \alpha (t_j - Y_j) X_j$$

El modelo de red neuronal empleando el modelo de perceptrón simple es muy empleado para la solución de este tipo de problemas.

Función de activación. La función de activación es la de combinar la entrada total al potencial pos sináptico,

obtenido a partir de estímulos y pesos recibidos, con el estado inicial de la neurona para producir un nuevo estado de activación acorde con la nueva información recibida [21].

Función de salida o transferencia. Asociada con cada unidad hay una función de salida, que transforma el estado actual de activación en una señal de salir. Existen cuatro funciones de transferencia típicas que determinan distintos tipos de neuronas: Escalón, Lineal y Mixta, Sigmoidal, Gaussiana. [20]

Regla de aprendizaje. El aprendizaje comprende la modificación del comportamiento inducido por la interacción con el ambiente exterior y esto produce implementación de nuevos modelos de respuesta [[19]. En el cerebro humano el conocimiento se encuentra en la sinapsis. En el caso de las RNA el conocimiento se encuentra en los pesos de las conexiones entre neuronas. Todo proceso de aprendizaje constituye determinados cambios en estas conexiones. Por lo que se puede afirmar que se aprende modificando los valores de los pesos de la red [12]

Sistema de aprendizaje de la RNA.

El sistema de aprendizaje estocástico empleado en la RNA consiste básicamente en realizar cambios aleatorios en los valores de los pesos de las conexiones de la red y evaluar su efecto a partir del objetivo deseado y de distribuciones de probabilidad. En el aprendizaje estocástico se suele hacer una analogía en términos termodinámicos, asociando a la red neuronal con un sólido físico que tiene cierto estado energético. En el caso de la red, la energía de la misma representaría el grado de estabilidad de la red, de tal forma que el estado de mínima energía correspondería a una situación en la que los pesos de las conexiones consiguen que su

funcionamiento sea el que más se ajusta al objetivo deseado. Según lo anterior, el aprendizaje consistiría en realizar un cambio aleatorio de los valores de los pesos y determinar la energía de la red. Si la energía es menor después del cambio, es decir, si el comportamiento de la red se acerca al deseado, se acepta el cambio; si, por el contrario, la energía no es menor, se aceptaría el cambio en función de una determinada y preestablecida distribución de probabilidades.

Ventajas y limitaciones de las RNA

Entre las principales ventajas de las RNAs se pueden mencionar las siguientes[2]:

- Aprendizaje. La red tiene la habilidad de aprender, a partir de la información registrada por el procesamiento de datos de entrada.
- Auto Organización. Posee su propia representación de la información en su estructura interna.
- Tolerancia a fallos. Es muy robusta. Puede seguir respondiendo de forma aceptable a pesar de tener fallas en alguna de sus partes.
- Flexibilidad. Tiene la capacidad de manejar adecuadamente los cambios no muy significativos en la entrada.

Tiempo real. Posee la habilidad de dar respuesta inmediata.

Las redes RNAs utilizan algoritmos de aprendizaje o de entrenamiento, los cuales permiten encontrar valores aceptables para los parámetros o pesos sinápticos. Mediante el proceso establecido por estos algoritmos, la red es capaz de ajustar internamente los pesos asociados a cada rama para obtener la salida esperada.

El entrenamiento de una red multicapa se realiza mediante un proceso de aprendizaje en el cual, de antemano, se debe tener definida la tipología de la

red. Luego, cada patrón de entrenamiento se propaga a lo largo de la red, con el fin de generar una respuesta en la capa de salida. Dicha respuesta se compara con los patrones objetivo o salidas deseadas. De allí se calcula el error en el aprendizaje, el cual determina el camino más adecuado para la actualización de los pesos y las ganancias que, al finalizar el proceso de entrenamiento, producirá una respuesta satisfactoria para todos los patrones de entrenamiento[21].

4.4 Recolección de Datos

Para el modelamiento de la demanda de energía eléctrica, se utilizó datos que se tomaron en una casa con la ayuda de un equipo Fluke 289. Los datos obtenidos corresponden a las potencias registradas en una residencia de la ciudad de Quito.

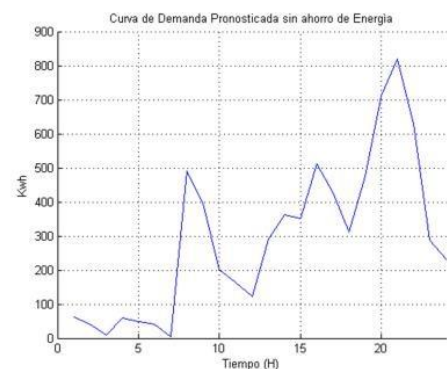


Figura 4: Curva de demanda pronosticada sin aplicar ningún tipo de ahorro. [18]

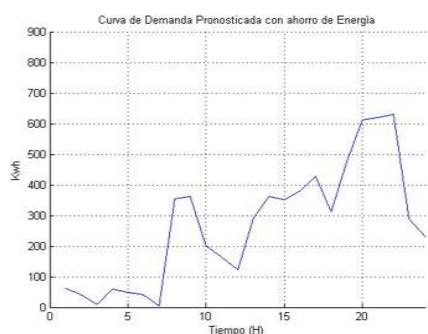
En la figura 4 y 5 se puede apreciar el proceso empleado para pronosticar la demanda de energía eléctrica, proceso realizado en el programa MATLAB utilizando un algoritmo (Anexo 1), la figura 4 pronostica la demanda sin aplicar ningún procedimiento para ahorrar energía y la figura 5 muestra disminución de consumo de energía realizando ahorro energético en horas picos.

Figura 5: Curva de demanda pronosticada

aplicando ahorro en horas pico.

A partir de la aplicación de encuestas no técnicas, se desarrolla una base de datos que luego se usa para obtener la gráfica de la Curva de la Demanda. Se obtiene además el porcentaje de uso de cada artefacto eléctrico.

Una vez que se ha realizado el tabulado de las curvas se presentante el



porcentaje de la energía consumida aproximadamente en las residencias según el rango de consumo respectivo.

Tabla 2: Porcentaje de Equipos de consumo 0- 130kWh

Porcentaje de Equipos de Consumo 0- 130 [kWh]	
Refrigeradora	67%
Iluminación	11%
Televisor	6%
Ducha	6%
Computadora	3%
Lavadora	3%
Microondas	1%
Ventilador	1%
Licuadaora	1%
Plancha	1%

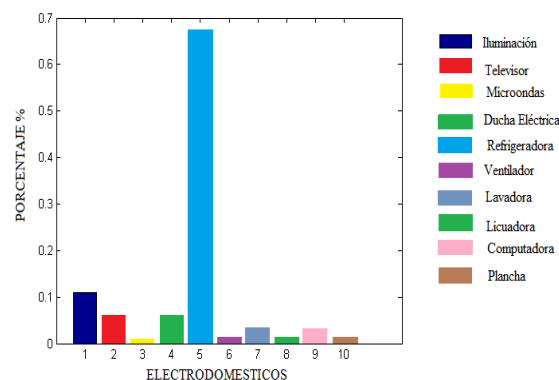


Figura 6: Porcentaje de Equipos de consumo 0- 130kWh.

En la figura 6 se muestra los artefactos y porcentajes de consumo en la escala de consumo de 0-130 kWh de acuerdo a las encuestas realizadas.

Tabla 3: Porcentaje de Equipos de consumo 131- 500 kWh

Porcentaje de Equipos de Consumo 131-500	
Refrigeradora	55%
Iluminación	14%
Aire Acondiciona	10%
Televisor	6%
Lavadora	4%

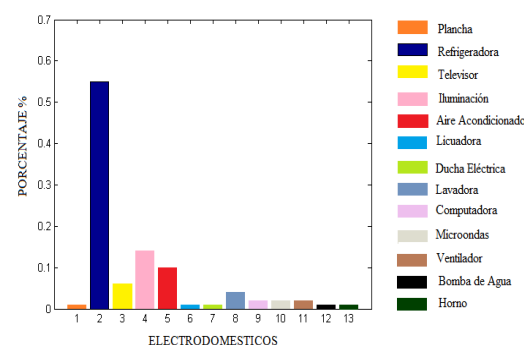


Figura 7: Porcentaje de Equipos de consumo 131- 500 kWh

En la figura 7 se muestra los artefactos y porcentajes de consumo en la escala de consumo de 131-500 kWh de acuerdo a las encuestas realizadas.

Tabla 4: Porcentaje de Equipos de consumo mayor a 500 kWh

Porcentaje de Equipos de Consumo mayor a 500	
Refrigeradora	39
Bomba de Agua	13
Iluminación	10
Televisor	9
Computadora	8
Ventilador	7
Lavadora	5
DVD	2
Microondas	2
Equipo de	1
Licuada	1
Plancha	1
Tostadora/ Sanduchera	1
Aire Acondiciona	1

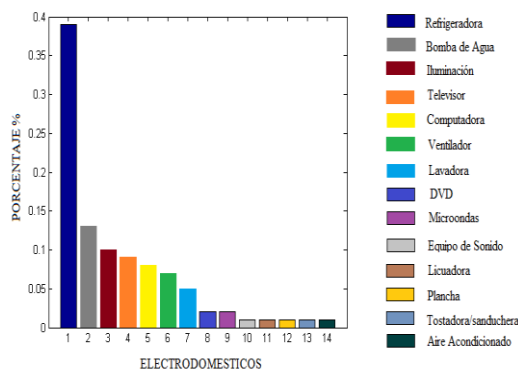


Figura 8: Porcentaje de Equipos mayores a 500 kWh.

En la figura 8 se muestra los artefactos y porcentajes de consumo en la escala de consumo mayores a kWh de acuerdo a las encuestas realizadas.

4.5. Ahorro de energía.

4.5.1. Utilizar bombillas de bajo consumo

La luz es uno de los servicios más importantes en el hogar y por ende, uno de los que más consume energía, representando cerca de la cuarta parte de la electricidad consumida en el sector residencial. De esta manera, realizar cambios en el sistema de

iluminación representa un camino para aumentar la eficiencia energética.

El uso de nuevas tecnologías de iluminación puede representar un ahorro de 50% a 75% de energía consumida en el hogar [22].

A nivel residencial, las lámparas incandescentes y las fluorescentes son las más utilizadas. De las primeras, las bombillas convencionales de potencia entre 20 y 100 watts son las más populares. El intercambio de las bombillas inscandescentes por las fluorescentes permite reducir la potencia utilizada, manteniendo los mismos niveles de confort. A continuación se mencionan las ventajas que presenta el uso de lámparas de bajo consumo (LBC) por sobre el uso de lámparas de filamento (LF) convencionales [2]

- Bajo consumo: las LBCs consumen cerca de 5.5 menos potencia que las LFs, para proveer de la misma intensidad de luz,
- Efecto Estroboscópico: no tiene parpadeo, debido a que son tubitos con gas (fluor) alimentado con alta frecuencia,
- Costo y vida útil. Las LFs son más baratas, sin embargo las LBCs duran 8 veces más que las LFs.

4.5.2. Optimizar energía en aires y aparatos de calefacción

Es habitual que se utilicen los equipos de calefacción y aire acondicionado cuando las personas están en casa, procurando un clima confortable para los casos en que la temperatura exterior representa una incomodidad para los habitantes. Para mejorar la eficiencia energética se recomienda utilizar

equipos que combínenlos recursos tradicionales de energía, como gas, con fuentes renovables, como la energía fotovoltaica, considerando además en el caso de los edificios, sistemas generadores de calor con un sistema único de almacenamiento de agua caliente[8].

4.5.3. Apaga los artefactos eléctricos que no uses

Por lo general, existe la mala costumbre de dejar encendidas las luces cuando se abandona una habitación. Aunque parezca que Así como las luces, muchos otros equipos de uso frecuente en casa permanecen encendidos la mayor parte de tiempo aunque no se utilicen.

Algunas medidas para aumentar la eficiencia energética en el hogar son de sentido común, como el hecho de apagar aquellos equipos que no están siendo utilizados. Ello representa un ahorro significativo de energía si se considera una cantidad considerable de hogares que practican estos hábitos [10].

4.5.4. Electrodomésticos de bajo consumo

Los electrodomésticos consumen alrededor del 11% de la energía eléctrica en el hogar. Actualmente varios países han establecido normas para el uso de la etiqueta energética, la cual educa y guía a los consumidores a la hora de comprar equipos energéticamente eficientes que representen un ahorro importante de consumo de energía en el hogar[12].

Además de comprar equipos con alto nivel de eficiencia, las siguientes recomendaciones ayudan a disminuir el consumo de energía eléctrica[11]:

- Utilizar la lavadora o el lavavajillas cuando estén llenos,

- Cocinar los alimentos cuando estén a temperatura ambiente,
- No dejar el frigorífico abierto por mucho tiempo,
- Abrir lo menos posible la puerta del horno cuando esté funcionando.

Conclusiones

- Es posible aumentar eficiencia energética en el sector residencial. Lograr este objetivo implica la optimización de las instalaciones, el cambio de patrones de consumo por parte del usuario y en general una actitud responsable con respecto al uso de la energía eléctrica.
- Los análisis contribuyen a la compra de tecnología de mayor eficiencia energética, en la medida en que educan al consumidor sobre el bajo consumo de energía de estos equipos en comparación con equipos obsoletos en esta materia.
- El gobierno de Ecuador realiza importantes esfuerzos para aumentar la eficiencia energética, un proceso que no sólo garantiza mayor ahorro e independencia con respecto al suministro de energía, sino que promueve la conservación del patrimonio natural y medio ambiente del territorio nacional.
- El sector residencial posee el mayor potencial para aumentar la eficiencia eléctrica, debido a que depende de factores sociales así como técnicos, tales como el cambio de conductas y patrones de consumo, la actualización de las instalaciones de la estructura física de la vivienda y la asimilación de nuevas tecnologías energéticamente más eficientes.

REFERENCIAS

- [1] M. B. Salvetti, J. Czajkowski, and A. F. Gómez, "Análisis del comportamiento energético-ambiental en torre de viviendas en La Plata," *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 13, pp. 5–127, 2009.
- [2] B. S. Araujo, "Aprendizaje Automático: conceptos básicos y avanzados," *Aspectos prácticos utilizando el software Weka. ISBN*, vol. 10, pp. 84–8322, 2006.
- [3] J. Mira, *Aspectos básicos de la Inteligencia Artificial*. 1995.
- [4] P. F. de la Eficiencia Energética, "Determinación de línea base 'anual' para la evaluación de la inversión en eficiencia energética en el sector residencial invierno 2007–verano 2008," *Santiago de Chile*, 2008.
- [5] Diana Isabel Cabrera Calopiña, "Diseño de una red neuronal artificial para la predicción de la demanda eléctrica," Universidad Nacional de Loja, Ecuador, 2014.
- [6] M. N. P. Jiménez, "Eficiencia energética de los edificios: repercusión medioambiental," *Revista de Direitos e Garantias Fundamentais*, no. 5, pp. 101–120, 2009.
- [7] F. J. R. Martínez and E. V. Gómez, *Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas*. Editorial Paraninfo, 2006.
- [8] M. Poveda, "Eficiencia energética: recurso no aprovechado," *OLADE. Quito*, 2007.
- [9] M. Poveda, "Eficiencia energética: recurso no aprovechado," *OLADE. Quito*, 2007.
- [10] P. L. Llamas, "Eficiencia energética y medio ambiente," *Información Comercial Española, ICE: Revista de Economía*, no. 847, pp. 75–92, 2009.
- [11] H. Altomonte, M. Coviello, and W. F. Lutz, *Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: restricciones y perspectivas*. CEPAL, 2003.
- [12] W. Bustamante, Y. Rozas, R. CEPEDA, F. ENCINAS, and P. MARTINEZ, "Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social," *Santiago, Ministerio de Vivienda y Urbanismo división Técnica de Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética (CNE)*, 2009.
- [13] J. SERRA, *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica. CIRCUTOR*, 2007.
- [14] R. F. López and J. M. F. Fernández, *Las Redes Neuronales Artificiales*. Netbiblo, 2008.
- [15] H. Tabares and J. Hernández, "Mapeo curvas típicas demanda de energía eléctrica del sector residencial, comercial e industrial de la ciudad de Medellín, usando redes neuronales artificiales y algoritmos de interpolación," *Revista Facultad de Ingeniería*, no. 46, pp. 110–118, 2013.
- [16] N. K. Bose and others, *Neural network fundamentals with graphs, algorithms, and applications*. 1996.
- [17] S. M. Hurtado and J. G. Aguado, "Predicción de demanda de energía en Colombia mediante un sistema de inferencia difuso neuronal," *Energética*, no. 33, pp. 15–24, 2005.
- [18] S. M. Hurtado and J. G. Aguado, "Predicción de demanda de energía en Colombia mediante un sistema de inferencia difuso neuronal," *Energética*, no. 33, pp. 15–24, 2005.
- [19] F. Villada, D. R. Cadavid, and J. D. Molina, "Pronóstico del precio de la energía eléctrica usando redes neuronales artificiales," *Revista facultad de ingeniería*, no. 44, pp. 111–118, 2014.
- [20] R. Salas, "Redes Neuronales Artificiales," *Universidad de Valparaíso. Departamento de Computación*, 2004.
- [21] J. R. Hilera González, V. J. Martínez Hernando, and others, *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*. 2000.

- [22] D. J. Matich, “Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones,” *Cátedra de Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos–Orientación I*, 2001.
- [23] B. MARTIN and A. Sanz Molina, *Redes neuronales y sistemas difusos*. 2002.